


Method and device for compensating for reactive currents

Patent Number: DE3818732
 Publication date: 1989-12-07
 Inventor(s): LE THANH-NAM DR ING (DE)
 Applicant(s): SIEMENS AG (DE)
 Requested Patent: ☐ DE3818732
 Application Number: DE19883818732 19880601
 Priority Number(s): DE19883818732 19880601
 IPC Classification: H02J3/18
 EC Classification: H02J3/18C3B
 Equivalents:

Abstract

The harmonics in a load current ($i_v(t)$) which produces an inductive reactive current ($i_F(t)$) result in a reactive-current amplitude response ($I_F(t)$), which results in a control error in the control value ($I_{\alpha}(t)$) for a control set (SZ) for forming the firing angle (α) for a controllable reactive-current plate (BST) for reactive-current compensation. A control-error correction device (SFK) comprising a control-error detector (SFD) and a control-error filter (SFF) forms a control-correction value ($K(t)$) for balancing the control error (ΔI_Q). The control-error detector (SFD) reproduces the control error, divided into a fundamental component ($I_{\alpha}(t)$) and into differential components ($I_{\alpha}(t) \dots I_{\alpha}(t) \dots I_{\alpha}(t)$) of higher order ($k = 1 \dots n$), in particular using a sequential series arrangement of control-error component detectors (SF PHI, SF1...SFk...SFn). These are matched in amplitude and transient response in a subsequent control-error filter (SFF), depending on the response characteristic of the respective load, in particular by means of adjustable amplifiers (V_{PHI} , $V_1 \dots V_k \dots V_n$) and adjustable smoothing elements (T_{PHI} , $T_1 \dots T_k \dots T_n$) and then combined to give the control-correction value. 

Data supplied from the esp@cenet database - I2



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑳ Aktenzeichen: P 38 18 732.9
㉑ Anmeldetag: 1. 6. 88
㉒ Offenlegungstag: 7. 12. 89

Beibehaltung des Anspruchs

DE 3818732 A1

㉑ Anmelder:
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

㉒ Erfinder:
Lê, Thanh-Nam, Dr.-Ing., 8520 Erlangen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Verfahren und Vorrichtung zur Kompensation von Blindströmen

Die Oberschwingungen in einem induktiven Blindstrom ($i_F(t)$) hervorruhenden Verbraucherstrom ($i_V(t)$) haben einen Blindstromamplitudenverlauf ($I_F(t)$) und dieser einen Steuerfehler im Steuerwert

$$(I_Q^*(t))$$

für einen Steuersatz (SZ) zur Bildung der Zündwinkel (α) für einen steuerbaren Blindstromsteller (BST) zur Blindstromkompensation zur Folge. Eine Steuerfehlerkorrektureinrichtung (SFK) aus einem Steuerfehlerdetektor (SFD) und einem Steuerfehlerfilter (SFF) bildet eine Steuerkorrekturgröße ($K(t)$) zum Ausgleich des Steuerfehlers (ΔI_Q). Der Steuerfehlerdetektor (SFD) bildet den Steuerfehler aufgeteilt in einen Grundanteil

$$(I_Q^0(t))$$

und in differenzielle Anteile

$$(I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t))$$

höherer Ordnung ($k = 1 \dots n$) insbesondere mittels in Reihe hintereinander angeordneter Steuerfehlerdetektoren (SF0, SF1...SFk...SFn) nach. Diese werden in einem nachgeschalteten Steuerfehlerfilter (SFF) abhängig vom Übertragungsverhalten des jeweiligen Verbrauchers in Amplitude und Einschwingverhalten insbesondere mittels einstellbarer Verstärker ($V\Phi$, $V1 \dots V_k \dots V_n$) und einstellbarer Glättungsglieder ($T\Phi9$, $T1 \dots T_k \dots T_n$) angepaßt und anschließend zur Steuerkorrekturgröße zusammengefaßt.

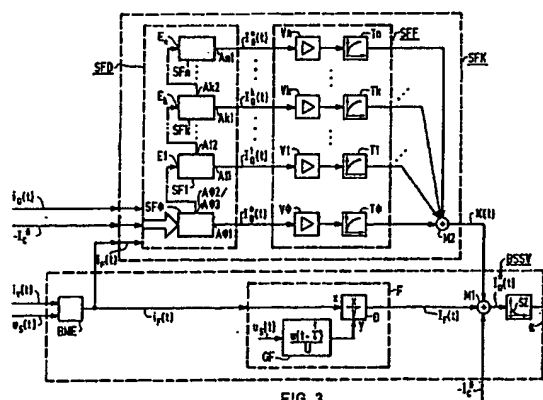


FIG 3

DE 3818732 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Blindströmen, welche von einem das Stromversorgungsnetz insbesondere stoßartig belastenden Verbraucher schnellveränderlich hervorgerufen werden, mit den Merkmalen des Oberbegriffes von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft ferner eine derartige Vorrichtung.

Eine schnelle Kompensation von Blindströmen ist insbesondere in den Zuleitungen von Verbrauchern notwendig, welche das Stromversorgungsnetz stoßartig und schnell veränderlich belasten. Ein bekannter Verbraucher dieser Art ist ein Drehstrom-Lichtbogen-schmelzofen, welcher insbesondere abhängig vom Befüllungsgrad, dem aktuellen Zustand der Schmelze und der Einfahrtiefe der Elektroden schnellveränderliche, induktive Blindströme in den Phasen des speisenden Drehstromnetzes verursacht.

Gemäß der Darstellung in Fig. 1 ist es zur Blindstromkompensation bekannt, einem derartigen Verbraucher V insbesondere über eine gemeinsame Sammelschiene SAS einen Kompensator K parallel zu schalten, welcher aus einer Kondensatorbank KB und einem steuerbaren Blindstromsteller BST besteht. Ein von einem Stromversorgungsnetz zugeführter Netzstrom teilt sich somit über die Sammelschiene in die Anteile $i_V(t)$, $i_Q(t)$ und $i_C(t)$ auf. Die Kondensatorbank KB dient als ein kapazitiver Blindstromerzeuger und besteht aus bevorzugt im Stern angeordneten Teilkondensatoren C_R , C_S und C_T . Der in der Fig. 1 in der dreiphasigen Zuleitung zur Kondensatorbank KB eingetragene Kondensatorstrom-Istwert $i_C(t)$ symbolisiert die einzelnen, in bekannter Weise zueinander phasenverschobenen Phasenströme i_{CR} , i_{CS} und i_{CT} in den Zuleitungen zu den Teilkondensatoren. Hierdurch wird dem einen schwankenden induktiven Blindstromanteil hervorgerufenen Verbraucherstrom-Istwert $i_V(t)$ in den Zuleitungen zum Verbraucher V ein großer und konstanter kapazitiver Blindstromanteil zur Kompensation gegenübergestellt. Die eigentliche schnelle Kompensation stoßartiger Blindstromanteile im Verbraucherstrom i_V wird durch eine geeignete Zuschaltung des steuerbaren Blindstromstellers BST pro Halbperiode der Sammelschienenspannung $u_S(t)$ erreicht. Dieser besteht bevorzugt aus im Dreieck zwischen den Netzphasen angeordneten zuschaltbaren Induktivitäten L_1 , L_2 und L_3 . Einer jeden Stellerinduktivität ist dabei bevorzugt eine Antiparallelschaltung aus je zwei Thyristoren T_{11} , T_{12} bzw. T_{21} , T_{22} bzw. T_{31} , T_{32} in Reihe geschaltet, wodurch eine stromrichtungsunabhängige Zuschaltung der jeweiligen Induktivität sowohl in der positiven als auch negativen Halbwelle der Sammelschienenspannung u_S ermöglicht wird. Auch hier repräsentiert in Fig. 1 der Stellerstrom-Istwert $i_Q(t)$ in der dreiphasigen Zuleitung zum Blindstromsteller BST die in bekannter Weise zueinander phasenverschobenen einzelnen Phasenströme i_{QR} , i_{QS} und i_{QT} . Die Kompensation wird bekanntlich derart durchgeführt, daß pro Phase die Summe aus dem im Verbraucherstrom i_V enthaltenen induktiven Blindstrom und dem durch die geeignete zyklische Zuschaltung der Stellerinduktivitäten hervorgerufenen Strom i_Q möglichst vollständig durch den kapazitiven Blindstrom i_C zur Kondensatorbank KB kompensiert wird.

Zur Ansteuerung der steuerbaren Induktivitäten im Blindstromsteller werden die auf die Halbperioden der Sammelschienenspannung u_S bezogenen Steuerwinkel α bevorzugt in einer Steuervorrichtung $BSSV$ ermittelt.

Diese enthält insbesondere eine Blindstrommeßrichtung BME zur Erfassung des induktiven Blindstromistwertes $i_F(t)$ aus der Sammelschienenspannung $u_S(t)$ und aus dem Verbraucherstromistwert $i_V(t)$ als Eingangsgrößen. Der Blindstromistwert wird desweiteren einem ersten Schwingungsfilter F zugeführt, welches nach Ausfilterung der dazugehörigen normierten Grundschwingung $\sin \omega t - \frac{T}{4}$ die Grundschwingungsamplitude I_F des Blindstromes ausgibt. Ein Steuerwert I_Q^* als Sollwert für die Grundschwingungsamplitude des Stellerstromes $i_Q(t)$, welcher der Differenz aus der Blindstrom-Grundschwingungsamplitude I_F und dem Sollwert der Grundschwingungsamplitude des Stromes zur Kondensatorbank I_C^* entspricht, wird schließlich einem Steuersatz SZ als Eingangswert zugeführt. Dieser enthält bevorzugt Zündkennlinien ZK , welche in Abhängigkeit des aktuellen Steuerwertes I_Q^* die insbesondere auf eine halbe Schwingungsperiode der Sammelschienenspannung u_S bezogenen Zündwinkel α für die zuschaltbaren Induktivitäten des Stellers BST vorgeben.

In der Fig. 2 ist beispielhaft eine derartige Bildung der Zündwinkel dargestellt. Dabei sei zunächst angenommen, daß der induktive Blindstromanteil im Verbraucherstrom rein sinusförmig und seine Amplitude langsam veränderlich ist. Ein derartiger Blindstromistwert $i_F(t)$ ist in der Fig. 2 mit durchgezogener Linie dargestellt. Die dazugehörige Grundschwingungsamplitude I_F ist somit zumindest abschnittsweise konstant. Zur Vereinfachung der Darstellung wurde in der Fig. 2 ein zumindest für eine gesamte Grundschwingungsperiode T amplitudenkonstanter und rein sinusförmiger Blindstromistwertverlauf $i_F(t)$ zugrundegelegt. Wird desweiteren vorausgesetzt, daß auch die Sammelschienenspannung $u_S(t)$ bei konstanter Amplitude rein sinusförmig ist, so ergibt sich eine ebenfalls konstante Grundschwingungsamplitude des Kondensatorstromes in den Zuleitungen zur Kondensatorbank, welche in einem solchen Fall auch als ein Sollwert I_C^* fest vorgegeben werden kann. Der aktuelle Steuerwert I_Q^* ergibt sich schließlich durch Subtraktion der zumindest abschnittsweise konstanten, im Vergleich zur Netzfrequenz nur langsam veränderlichen Blindstrom-Grundschwingungsamplitude I_F und der Grundschwingungsamplitude I_C^* des Kondensatorstromes. Die Zündwinkel α_{ZZ} für die zuschaltbaren Stellerinduktivitäten ergeben sich schließlich pro Halbperiode durch Überlagerung des Steuerwertes I_Q^* mit der insbesondere im Steuersatz SZ hinterlegten Zündkennlinie ZK .

In der Praxis ist der Verbraucherstrom-Istwert $i_V(t)$ in allen Phasen allerdings vielfach mit hochfrequenten Oberschwingungen belastet. Dementsprechend ergibt sich auch ein unter Umständen erheblich von der idealen Sinusform abweichender Verlauf des induktiven Blindstromanteiles. In der Fig. 2 ist ein derartiger ober-schwingungsbehafteter realer Blindstromistwert $i_F(t)$ beispielhaft strichliert dargestellt. Der dazugehörige Blindstrom-Amplitudenverlauf $I_F(t)$ schwankt dementsprechend um einen Mittelwert, welcher der zumindest abschnittsweise konstanten Blindstrom-Grundschwingungsamplitude I_F entspricht. Als Folge davon zeigt auch der Sollwert für den Stellerstrom in den Zuleitungen zum Blindstromsteller $I_Q^*(t)$, welcher als Steuerwert am Eingang des Steuersatzes zur Bildung der Steuerwinkel dient, ein ausgeprägtes Zeitverhalten. Auch dieser in der Fig. 2 strichliert eingetragene Verlauf schwankt um einen Mittelwert, welcher dem zumindest abschnittsweise konstanten Sollwert der Stellerstrom-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Grundschriftungsamplitude I_Q^* entspricht. Nach Überlagerung des vom Blindstrom-Amplitudenverlauf $I_R(t)$ hervorgerufenen Steuerwertverlaufes $I_Q^*(t)$ mit der Zündkennlinie ZK ergeben sich pro Halbperiode die tatsächlichen Zündwinkel α_{ZZ} . Diese weichen aufgrund der sich bis in den Steuerwertverlauf $I_Q^*(t)$ fortplantenden Oberschwingungen des Verbraucherstromes unter Umständen erheblich von den gewünschten Zündwinkeln α_{Z1} ab. Diese Zündwinkelabweichungen werden hervorgerufen durch einen überschwingungsbedingten Steuerfehler ΔI_Q , welcher der Abweichung des Stellerstrom-Amplitudenverlaufes $I_Q^*(t)$ von der Stellerstrom-Grundschriftungsamplitude I_Q^* im jeweiligen Schnittpunkt mit der Zündkennlinie ZK entspricht. Durch diese Steuerfehler wird die exakte Ermittlung der gewünschten und zur jeweiligen Stellerstrom-Grundschriftungsamplitude I_Q^* gehörigen Zündwinkel α_{Z1} und somit die Qualität der gesamten Blindstromkompensation erheblich beeinträchtigt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Blindstromkompensation anzugeben, mit deren Hilfe derartige Steuerfehler trotz Vorliegen eines überschwingungshaltigen Blindstromwertes vermieden werden können.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale von Anspruch 1. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens angegeben.

Es ist ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens, daß der Steuerfehler im Steuerwert für den steuerbaren induktiven Blindstromerzeuger bestimmt werden kann, welcher sich aufgrund der überschwingungsbedingten Abweichung des realen Amplitudenverlaufes vom an sich konstanten Sollwert der Grundschriftungsamplitude des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger ergibt. Es ist besonders vorteilhaft, daß der Steuerfehler aufgeteilt in einen Steuerfehlergrundanteil und in differentielle Steuerfehleranteile höherer Ordnung bereitgestellt wird. Zur Bestimmung der Steuerfehleranteile dienen gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren die Istwerte des induktiven Verbraucherblindstromes und des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger.

Der Steuerfehlergrundanteil kann dabei aus einer gleichphasig mit der Grundschriftung des induktiven Verbraucherblindstromes verlaufenden Zeitfunktion bestimmt werden, während sich die differentiellen Steuerfehleranteile vorteilhaft aus Zeitfunktionen ergeben, die um ein von ihrer Ordnung abhängiges Vielfaches einer Viertelperiode gegenüber der Grundschriftung des induktiven Verbraucherblindstromes phasenverschoben sind. Es ist ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens, daß diese Steuerfehleranteile in Amplitude und Einschwingverhalten somit einzeln auf das Übertragungsverhalten des die zu kompensierenden Blindströme hervorruhenden Verbrauchers angepaßt werden können, und erst nach dieser Anpassung zu einer gemeinsamen und zum Steuerwert für den Blindstromsteller hinzuzufügenden Steuerkorrekturgröße zusammengefaßt werden können.

Stehen die zu den Istwerten des Verbraucherblindstromes und des Stromes in den Zuleitungen zum induktiven Blindstromerzeuger im Kompensator gehörigen Amplitudenverläufe bereits zur Verfügung, so kann gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens der Steuerfehlergrundanteil besonders vorteilhaft bereits dadurch gebildet werden, daß der Soll-

wert für die Grundschriftungsamplitude des Stromes zum kapazitiven Blindstromerzeuger von der Summe der Amplitudenverläufe des Verbraucherblindstromes und des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger abgezogen wird. Diese Summe bildet dabei besonders vorteilhaft den Amplitudenverlauf des Stromes in den Zuleitungen zum kapazitiven Blindstromerzeuger nach.

Stehen in einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens die Amplitudenverläufe des Verbraucherblindstromes und des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger nicht direkt zur Verfügung, so kann der Steuerfehlergrundanteil vorteilhaft auch aus der Summe der Istwert dieser beiden Ströme bestimmt werden. Hierzu werden aus dieser Summe zunächst die Oberschwingungen und anschließend die dazugehörige normierte Grundschriftung ausgefiltert. Wird die Schwingung der Sammelschienen-Spannung $u_S(t)$ als eine Referenz zugrundegelegt, so eilt im Vergleich dazu diese auszufilternde normierte Grundschriftung des überschwingungsgeglätteten Summenstromes gemäß der Beziehung

$$\frac{1}{U_s} \cdot u_S \left(t - \frac{T}{4} \right)$$

um eine viertel Periode voraus. Der Steuerfehlergrundanteil ergibt sich aus dem auf diese Weise aus dem gefilterten Summenstrom nachgebildeten Amplitudenverlauf des Stromes zum kapazitiven Blindstromerzeuger wiederum durch Subtraktion des Sollwertes für die dazugehörige Grundschriftungsamplitude.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein differentieller Steuerfehleranteil der Ordnung K besonders vorteilhaft direkt aus einem bereits bestimmten Steuerfehleranteil mit der nächst niedrigeren Ordnung $k - 1$ durch reale, zeitverzögerte Differentiation gewonnen. So ergibt sich beispielsweise der differentielle Steuerfehleranteil 1. Ordnung durch reale, zeitverzögerte Differentiation aus dem Steuerfehlergrundanteil.

In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der jeweilige differentielle Steuerfehleranteil der Ordnung k aus einer Eingangsgröße gewonnen, welche zunächst differenziert wird, anschließend die Oberschwingung und die von der Ordnung des jeweiligen differentiellen Steuerfehleranteiles abhängige normierte Grundschriftung ausgefiltert werden, und davon schließlich der Sollwert der Grundschriftungsamplitude des Stromes zum kapazitiven Blindstromerzeuger abgezogen wird. Wird auch hier der Verlauf der Sammelschienen-Spannung $u_S(t)$ mit einer Grundschriftungsamplitude U_s als eine Referenz zugrundegelegt, so lassen sich diese auszufilternde normierte Grundschriftungen gemäß nachfolgender Tabelle zusammenfassen. Dabei entspricht die beim Lauffaktor $k = 0$ angegebene Beziehung der zum Steuerfehlergrundanteil gehörenden normierten Grundschriftung. Dementsprechend repräsentieren die bei den Lauffaktoren $k = 1 \dots n$ angegebenen Beziehungen die zu den differentiellen Steuerfehleranteilen erster bis n -ter Ordnung gehörigen normierten Grundschriftungen.

$$k = 0: \frac{1}{U_s} \cdot u_s \left(t - \frac{T}{4} \right) = A$$

$$k = 1: \frac{1}{U_s} \cdot u_s(t) = B$$

$$k = 2: \frac{1}{U_s} \cdot u_s \left(t + \frac{T}{4} \right) = -A$$

$$k = 3: \frac{1}{U_s} \cdot u_s \left(t + 2 \cdot \frac{T}{4} \right) = -B$$

$$k = 4: \frac{1}{U_s} \cdot u_s \left(t + 3 \cdot \frac{T}{4} \right) = A$$

$$k = 5: \frac{1}{U_s} \cdot u_s \left(t + 4 \cdot \frac{T}{4} \right) = B$$

...

$$k = n$$

Zur Bestimmung des differentiellen Steuerfehleranteiles mit erster Ordnung $k = 1$ dient dabei als Eingangsgröße die Summe aus den Istwerten des Verbraucherblindstromes und des Stromes in den Zuleitungen zum steuerbaren, induktiven Blindstromerzeuger. Demgegenüber dient zur Bestimmung eines differentiellen Steuerfehleranteiles mit höherer Ordnung, d. h. $k = 2 \dots n$, als Eingangsgröße die differenzierte und überschwingungsgeglättete Eingangsgröße, welche bei der Bildung des differentiellen Steuerfehleranteiles mit der nächst niedrigeren Ordnung $k - 1$ auftritt.

Es ist besonders vorteilhaft, wenn in einer Ausführungsform der Erfindung die Steuerfehleranteile vor Zusammenfassung zur Steuerkorrekturgröße getrennt in Amplitude und Einschwingverhalten angepaßt werden. Auf diese Weise kann vorteilhaft der Beitrag eines jeden Steuerfehleranteiles zur Steuerkorrekturgröße abhängig vom Übertragungsverhalten des jeweils vorliegenden Verbrauchers separat in Amplitude und Einschwingverhalten vorgegeben werden. In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es auch möglich, die Amplituden aller Steuerfehleranteile und das Einschwingverhalten des Steuerfehlergrundanteiles getrennt anzupassen, und vor Zusammenfassung der angepaßten Anteile zur Steuerkorrekturgröße eine gemeinsame Anpassung des Einschwingverhaltens bei der Summe der amplitudenangepaßten differentiellen Steuerfehleranteile vorzunehmen. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn der Einfluß des jeweiligen Einschwingverhaltens des einzelnen amplitudenangepaßten differentiellen Steuerfehleranteiles auf den gesamten Kompensationsprozeß aufgrund des Übertragungsverhaltens des jeweiligen Verbrauchers nur schwer abzuschätzen ist.

Die Erfindung wird desweiteren anhand der nachfolgend kurz angeführten Fig. 3 bis 8 näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine bekannte Vorrichtung zur Blindstromkompensation mit einem Kompensator aus einer Kondensatorbank und aus einem Blindstromsteller mit Steuervorrichtung,

Fig. 2 den Verlauf eines idealen bzw. realen Verbraucherblindstromes und die sich daraus ergebenden gewünschten bzw. tatsächlichen Zündwinkel für die zuschaltbaren Induktivitäten des Blindstromstellers,

Fig. 3 eine Blindstromsteller-Steuervorrichtung mit einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Steuerfehlerkorrektureinrichtung,

Fig. 4 eine Ausführungsform für einen Steuerfehler-teildetektor zur Erfassung des Steuerfehlergrundanteiles,

Fig. 5 eine weitere Ausführungsform für einen Steuerfehler-teildetektor zur Erfassung des Steuerfehlergrundanteiles,

Fig. 6 eine Ausführungsform für einen Steuerfehler-teildetektor zur Erfassung eines der differentiellen Steuerfehleranteile,

Fig. 7 eine weitere Ausführungsform für einen Steuerfehler-teildetektor zur Erfassung eines der differentiellen Steuerfehleranteile, und

Fig. 8 eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Steuerfehlerkorrektureinrichtung.

In der Fig. 3 ist eine vorteilhafte Ausführungsform der Blindstromsteller-Steuervorrichtung *BSSV* im Detail dargestellt, welche bereits anhand von Fig. 1 erläutert wurde. Diese besteht insbesondere aus einer Blindstrommeßeinrichtung *BME*, einem ersten Schwingungsfilter *F*, einer Mischungsstelle *M1* und einem Steuersatz *SZ* für den als induktiven Blindstromerzeuger dienenden steuerbaren Blindstromsteller *BST*. Die Blindstrommeßeinrichtung *BME* bildet aus dem Verbraucherstromistwert $i_V(t)$ und dem Istwert der Sammelschienenspannung $u_S(t)$ den Istwert des induktiven Blindstromes $i_F(t)$ in den Zuleitungen zum Verbraucher. Mit Hilfe des ersten Schwingungsfilter *F* wird durch Ausfilterung des normierten Grundschwungsanteiles aus dem Blindstromistwert der reale und somit unter Umständen überschwingungshaltige Blindstrom-Amplitudenverlauf $I_F(t)$ gebildet. Die Mischungsstelle *M1* stellt den als Steuerwert für den Steuersatz *SZ* dienenden Sollwert $I_Q^*(t)$ des Blindstromstelleramplitudenverlaufes aus der Differenz des Blindstromamplitudenverlaufes $I_F(t)$ und dem vorgegebenen Sollwert I_C^* der Kondensatorstrom-Grundschwungsamplitude bereit. In der in der Fig. 3 dargestellten Ausführungsform des ersten Schwingungsfilter *F* wird die zur Filterung des Blindstromistwertes $i_F(t)$ benötigte Grundschwung bevorzugt direkt aus dem Istwert der Sammelschienenspannung $u_S(t)$ mittels eines Grundschwungsfilter *GF* unter Zugrundelegung der Beziehung

$$\frac{1}{U_s} \cdot u_s \left(t - \frac{T}{4} \right)$$

ermittelt. Ein Dividierer *D* bildet schließlich den gewünschten Blindstrom-Amplitudenverlauf aus dem Blindstromistwert und der vom Grundschwungsfilter *GF* bereitgestellten normierten Grundschwung als Eingangsgrößen für den Zähler- und den Nennerwert der Division.

Erfindungsgemäß soll der Steuerfehler im Steuerwert $I_Q^*(t)$ korrigiert werden. Wie bereits oben erläutert wurde, hat dieser Steuerfehler seine Ursache darin, daß die Blindstromamplitude I_F am Ausgang des ersten Schwingungsfilter *F* in der Praxis häufig nicht konstant ist, sondern einen zeitabhängigen Blindstrom-Amplitudenverlauf $I_F(t)$ darstellt. Dieser wiederum hat seine Ursache in der Überschwingungshaltigkeit des Blindstromistwertes $i_F(t)$. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird hierzu eine dieser Steuerfehler ausgleichende Steuerkorrekturgröße $K(t)$ von einer Steuerfehlerkorrekturereinheit *SFK* aus dem Stellerstromistwert $i_Q(t)$ in

den Zuleitungen zum steuerbaren induktiven Blindstromsteller und aus dem Blindstromistwert $i_H(t)$ gebildet.

Entsprechend der Darstellung in der Fig. 3 besteht diese Steuerfehlerkorrekturereinheit SFK in der erfindungsgemäßen Blindstromkompensationsvorrichtung aus einem Steuerfehlerdetektor SFD zur Bildung der Steuerfehleranteile, aus einem Steuerfehlerfilter SFF zur Anpassung der Steuerfehleranteile an das Übertragungsverhalten des mit der erfindungsgemäßen Blindstromkompensationsvorrichtung beschalteten Verbrauchers und aus einer Mischungsstelle $M2$ zum Zwecke der Zusammenfassung der angepaßten Steuerfehleranteile zur Steuerkorrekturgröße $K(t)$. Der Steuerfehlerdetektor SFD bildet aus den Istwerten des Stellerstromes $i_Q(t)$ und des Verbraucherblindstromes $i_H(t)$ den Amplitudenverlauf $I_C(t)$ des Kondensatorstromes nach. Nach Vergleich dieses Wertes mit dem fest vorgegebenen Sollwert für die Grundschwingungsamplitude des Kondensatorstromes I_C^* stellt der Steuerfehlerdetektor den Steuerfehler aufgeteilt in einen Grundanteil $I_Q^0(t)$ und in differentielle Anteile $I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t)$ mit der Ordnung $k = 1 \dots n$ am Ausgang zur Verfügung. In der Praxis wird die Anzahl der zur Bildung der Steuerkorrekturgröße $K(t)$ beitragenden differentiellen Steuerfehleranteile, d. h. deren maximale Ordnung n , abhängig von der gewünschten Kompensationsgenauigkeit der Blindstromkompensationsvorrichtung und dem Übertragungsverhalten des damit beschalteten Verbrauchers geeignet ausgewählt. Unter Umständen kann bereits bei einer Berücksichtigung der differentiellen Steuerfehleranteile bis einschließlich der dritten Ordnung eine ausreichende Wirkung der erfindungsgemäßen Blindstromkompensationsvorrichtung erreicht werden. Das Steuerfehlerfilter SFF ermöglicht darüber hinausgehend eine Anpassung der einzelnen Steuerfehleranteile in Amplitude und Einschwingverhalten an die jeweils vorliegende Kompensationsaufgabe. Auch hiermit kann besonders vorteilhaft der Beitrag eines jeden Steuerfehleranteils zur Bildung der Steuerkorrekturgröße $K(t)$ abhängig vom jeweiligen Verbraucher separat eingestellt werden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, welche in der Fig. 3 bereits dargestellt ist, besteht der Steuerfehlerdetektor SFD aus Steuerfehlerteildetektoren $SF0$ bzw. $SF1 \dots SFk \dots SFn$ zur Bildung des Steuerfehlergrundanteiles bzw. der differentiellen Steuerfehleranteile mit der Ordnung k . Die einzelnen Steuerfehlerteildetektoren sind dabei in Reihe hintereinander angeordnet, so daß die Bildung eines differentiellen Steuerfehleranteiles höherer Ordnung von der Bildung des Steuerfehlergrundanteiles bzw. der differentiellen Steuerfehleranteile mit niedrigerer Ordnung abhängig ist. Ein derart kettenförmig aufgebauter Steuerfehlerdetektor hat den besonderen Vorteil, daß der zum Aufbau der einzelnen Steuerfehlerteildetektoren notwendige Aufwand minimal ist. Ferner können alle Steuerfehlerteildetektoren für die differentiellen Steuerfehleranteile unter Umständen identisch aufgebaut werden, bzw. unterscheiden sich im Aufbau voneinander nur geringfügig. Ein derartiger Steuerfehlerdetektor SFD ermöglicht desweiteren eine leichte Anpassung an die jeweils gewünschte maximale Ordnung des zur Bildung der Steuerkorrekturgröße noch zu berücksichtigenden differentiellen Steuerfehleranteiles durch modulare Hinzufügung noch benötigter bzw. Weglassung nicht benötigter Steuerfehlerteildetektoren.

In der Fig. 4 ist eine vorteilhafte Ausführungsform

eines ersten Steuerfehlerteildetektors $SF0$ zur Bereitstellung des Steuerfehlergrundanteiles $I_Q^0(t)$ an einem Ausgang $A01$ dargestellt. Er enthält insbesondere ein Stellerstromfilter QF , welches aus dem Stellerstromistwert $i_Q(t)$ den dazugehörigen Amplitudenverlauf $I_Q(t)$ bildet. Die Zusammenfassung dieser Größe mit dem Amplitudenverlauf $I_H(t)$ des Verbraucherblindstromes $i_H(t)$ insbesondere über eine Mischungsstelle $M4$ bildet den Amplitudenverlauf $I_C(t)$ des Kondensatorstromes nach. Die Subtraktion des dazugehörigen Sollwertes I_C^* insbesondere über eine weitere Mischungsstelle $M5$ ergibt schließlich den gewünschten Steuerfehlergrundanteil $I_Q^0(t)$.

In der Fig. 5 ist eine weitere vorteilhafte Ausführungsform eines ersten Steuerfehlerteildetektors $SF0$ dargestellt. Er enthält ein Bandpaßfilter BP zur Glättung der Oberschwingungen in der insbesondere über eine Mischungsstelle $M4$ gebildeten Summe aus den Istwerten des Stellerstromes $i_Q(t)$ und des Verbraucherblindstromes $i_H(t)$. Die jeweils gewünschte Grenzfrequenz für das Bandpaßfilter BP ist über einen Eingang GRF vorgebar. Zur Nachbildung des Amplitudenverlaufes des Kondensatorstromes $I_C(t)$ wird die normierte Grundschwingung aus der Oberschwingungsgeglätteten Summe der beiden Istwerte $i_Q(t)$ und $i_H(t)$ mit Hilfe eines zweiten Schwingungsfilters $F0$ ausgefiltert. Da dieser Grundschwingungsanteil mit dem Grundschwingungsanteil des Verbraucherblindstrom-Istwertes $i_H(t)$ übereinstimmt, ist es besonders vorteilhaft, wenn das Schwingungsfilters $F0$ in der gleichen Weise aufgebaut ist wie das in der Blindstromsteller-Steuervorrichtung $BSSV$ gemäß der Darstellung in der Fig. 3 zur Bildung des Blindstromamplitudenverlaufes $I_H(t)$ verwendete Schwingungsfilters F . Zur Bildung des Steuerfehlergrundanteiles $I_Q^0(t)$ wird von dem Ausgangssignal des Schwingungsfilters $F0$ wiederum insbesondere über eine Mischungsstelle $M5$ der fest vorgegebene Sollwert I_C^* des Kondensatorstromes subtrahiert.

In der Fig. 6 ist eine vorteilhafte Ausführungsform eines Steuerfehlerteildetektors SFk zur Bildung eines differentiellen Steuerfehleranteiles $I_Q^k(t)$ mit der Ordnung k an einem Ausgang $Ak1$ dargestellt. Ein derartiger Steuerfehlerteildetektor ist besonders dazu geeignet, bei einem aus einer Reihenanzahl von Steuerfehlerteildetektoren gemäß der Darstellung von Fig. 3 bestehenden Steuerfehlerdetektor SFD zur Bildung eines der differentiellen Steuerfehleranteile zu dienen. Es ist besonders vorteilhaft, wenn alle der in Fig. 3 in Reihe geschalteten Steuerfehlerteildetektoren $SF1 \dots SFn$ zur Bildung der differentiellen Steuerfehleranteile in der in der Fig. 6 dargestellten Weise aufgebaut sind. Als Eingangsgröße am Eingang Ek dieses Steuerfehlerteildetektors SFk dient der differentielle Steuerfehleranteil $I_Q^{k-1}(t)$ mit der nächst niedrigeren Ordnung $k - 1$. Ist beispielsweise der Steuerfehlerteildetektor $SF1$ zur Bildung des differentiellen Steuerfehleranteiles 1. Ordnung in der in der Fig. 6 dargestellten Weise aufgebaut, so wird diesem am Eingang $E1$ der Steuerfehlergrundanteil $I_Q^0(t)$ als Eingangsgröße zugeführt. Dieser Wert wird von den in den Fig. 4 und 5 dargestellten Ausführungsformen für Steuerfehlerteildetektoren zur Bildung des Steuerfehlergrundanteiles bevorzugt an je einem separaten Ausgang $A02$ zur Verfügung gestellt. Der Steuerfehlerteildetektor SFk enthält einen Funktionsgeber DT mit differenzierend-verzögerndem Übertragungsverhalten sogenanntes "DT₁-Glied") zur Bildung des jeweiligen differentiellen Steuerfehleranteiles $I_Q^k(t)$ aus der Eingangsgröße Ek . Auch hierbei ist es vorteil-

haft, den jeweiligen differentiellen Steuerfehleranteil der Ordnung k zum Zwecke der Bildung weiterer differentieller Steuerfehleranteile höherer Ordnung an einem separaten Ausgang $Ak2$ zur Verfügung zu stellen, welcher bei Bedarf mit dem Eingang $E(k+1)$ des Steuerfehleranteildetektors mit der Ordnung $k+1$ verbunden wird.

In der Fig. 7 ist eine weitere vorteilhafte Ausführungsform eines Steuerfehleranteildetektors Sfk zur Bildung eines differentiellen Steuerfehleranteiles $I_Q^k(t)$ mit der Ordnung k am Ausgang $Ak1$ dargestellt. Auch diese Ausführungsform eignet sich besonders zum Aufbau der einzelnen, in Reihe angeordneten Steuerfehleranteildetektoren $SF1 \dots SFn$ in einem Steuerfehlerdetektor SFD gemäß der Darstellung von Fig. 3. So wird dem Steuerfehlerdetektor Sfk an seinem Eingang E_k eine Eingangsgröße zugeführt, welche vom bevorzugt identisch aufgebauten Steuerfehlerdetektor $SF(k-1)$ mit der nächst kleineren Ordnung $k-1$ zur Verfügung gestellt wird. Entsprechend stellt der Steuerfehlerdetektor Sfk an einem Ausgang $Ak2$ ein Signal zur Verfügung, welches dem bevorzugt identisch aufgebauten Steuerfehlerdetektor $SF(k+1)$ zur Bildung des differentiellen Steuerfehleranteiles mit der nächst höheren Ordnung $k+1$ an einem Eingang $E(k+1)$ zugeführt wird. Wird beispielsweise der Steuerfehlerdetektor $SF1$ zur Bildung des differentiellen Steuerfehleranteiles 1. Ordnung in der in der Fig. 7 dargestellten Form ausgeführt, so ist als Eingangsgröße die Summe der Istwerte der Ströme $i_Q(t)$ und $i_I(t)$ am Eingang $E1$ zuzuführen, welche beispielsweise vom Steuerfehlerdetektor $SF0$ gemäß der in der Fig. 5 dargestellten Ausführungsform bereits an einem separaten Ausgang $A03$ zur Verfügung gestellt wird.

Das Signal am Eingang E_k des Steuerfehlerdetektors Sfk wird gemäß der Darstellung in Fig. 7 zunächst einem Differenzierglied DF und anschließend einem Bandpaßfilter $BP0$ mit bevorzugt über einen separaten Eingang GRF vorgegebener Grenzfrequenz zugeführt.

Das so gebildete Signal dient zum einen zur Bildung des gewünschten differentiellen Steuerfehleranteiles $I_Q^k(t)$ mit der Ordnung k , indem der dazugehörige und abhängige normierte Grundschwungsanteil über ein einstellbares Schwingungsfilter Fk ausgefiltert, und davon anschließend der fest vorgegebene Sollwert I_C^* des Kondensatorstromes insbesondere über eine Mischungsstelle $M6$ subtrahiert wird. Das Signal am Ausgang des Bandpaßfilters $BP0$ kann desweiteren zur Bildung differentieller Steuerfehleranteile höherer Ordnung verwendet werden, indem es zumindest einem weiteren Steuerfehlerdetektor $SF(k+1)$ am Eingang $E(k+1)$ zugeführt wird, welcher identisch mit der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform aufgebaut und dieser in Reihe nachgeschaltet ist.

Die aus dem Signal am Ausgang des Bandpaßfilters $BP0$ in der Fig. 7 mit Hilfe des einstellbaren Schwingungsfilters Fk jeweils auszufilternde normierte Grundschwungung ist beispielsweise bezogen auf die Sammelschienenspannung $u_S(t)$ in der Phasenlage abhängig von der jeweiligen Ordnung k des zu bildenden differentiellen Steuerfehleranteiles. Dieser Zusammenhang zwischen der normierten Grundschwungung und der Schwingung der Sammelschienenspannung $u_S(t)$ wurde bereits oben in Abhängigkeit von der Ordnung k im Bereich $k = 0 \dots 5$ in Tabellenform beispielhaft zusammengestellt.

In der Fig. 7 ist eine vorteilhafte Ausführungsform eines derartigen einstellbaren Schwingungsfilters Fk

dargestellt. Dieses enthält jeweils ein von der Ordnung k abhängiges einstellbares Grundschwungungsfilter $GF0$ und eine Vorzeichensteuerung VS , einen Multiplizierer MZ zur Verknüpfung der Ausgangssignale des einstellbaren Grundschwungungsfilters und der Vorzeichensteuerung, und einen Dividierer $D0$, dem das Signal am Ausgang des Bandpaßfilters $BP0$ als Zählerwert und das Signal am Ausgang des Multiplizierers MZ als Nennerwert zugeführt wird. Das einstellbare Grundschwungungsfilter $GF0$ bildet abhängig von der aktuellen Ordnung k und dem Istwert der Sammelschienenspannung $u_S(t)$ als Eingangsgrößen die zur Filterung jeweils benötigten normierte Grundschwungung phasenlagerichtig unter Zuhilfenahme der Beziehung

$$\frac{1}{U_s} \cdot u_s \left[t - \left(\frac{1+(-1)^k}{2} \right) \cdot \frac{T}{4} \right]$$

Das Ausgangssignal des einstellbaren Grundschwungungsfilters entspricht somit den Beträgen der in der obigen Tabelle mit A und B bezeichneten Größen. Die Vorzeichensteuerung VS ergänzt diese Beträge um das zu jeweiligen Ordnung k gehörige Vorzeichen zur normierten Grundschwungung, welche gemäß obiger Tabelle die Formen A , $-A$, B und $-B$ annehmen kann.

Eine vorteilhafte Ausführungsform eines Steuerfehlerfilters SFF zur Anpassung der einzelnen Steuerfehleranteile $I_Q^0(t), I_Q^1(t) \dots I_Q^n(t)$ in Amplitude und Einschwingverhalten ist in der Fig. 3 dargestellt. Dabei ist zur Anpassung eines jeden Steuerfehleranteiles eine Reihenschaltung aus einem Verstärker Vk mit einstellbarem Verstärkungsfaktor zur Amplitudenanpassung und einem Glättungsglied Tk mit einstellbarer Zeitkonstante zur Anpassung des Einschwingverhaltens vorgesehen. So dient beispielsweise die Reihenschaltung aus dem Verstärker $V0$ und dem Glättungsglied $T0$ zur Anpassung des Steuerfehlergrundanteiles $I_Q^0(t)$. Entsprechend dienen die Reihenschaltungen aus $V1, T1 \dots Vn, Tn$ zur Anpassung der differentiellen Steuerfehleranteile $I_Q^1(t) \dots I_Q^n(t)$.

In der Fig. 8 ist schließlich eine weitere vorteilhafte Ausführungsform eines Steuerfehlerfilters SFF dargestellt. Dabei ist lediglich für den Steuerfehlergrundanteil ($I_Q^0(t)$) eine separate Anpassung in Amplitude und Einschwingverhalten mittels eines einstellbaren Verstärkers $V0$ und eines Glättungsgliedes mit einstellbarer Zeitkonstante $T0$ vorgesehen. Bei den differentiellen Steuerfehleranteilen $I_Q^1(t) \dots I_Q^n(t)$ ist eine separate Amplitudenanpassung mittels der Verstärker $V1 \dots Vn$ vorgesehen. Dagegen dient lediglich ein einziges Glättungsglied TS mit einstellbarer Zeitkonstante zur Anpassung des Einschwingverhaltens der insbesondere über eine Mischungsstelle $M3$ gebildeten Summe der amplitudenangepaßten differentiellen Steuerfehleranteile.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von Blindströmen, welche von einem das Stromversorgungsnetz insbesondere stoßartig belastenden Verbraucher schnellveränderlich hervorgerufen werden, wobei dem Verbraucher ein Kompensator aus einem kapazitiven und einem steuerbaren induktiven Blindstromerzeuger parallelgeschaltet ist, und der induktive Blindstromerzeuger abhängig von der Netzfrequenz und einem Steuerwert (I_Q^*) zugeschaltet

wird, welcher der Differenz aus der Amplitude (I_F) des induktiven Blindstromwertes zum Verbraucher und dem Sollwert (I_C^*) der Grundschrwingungsamplitude des Stromes zum kapazitiven Blindstromerzeuger entspricht, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) der sich aufgrund der überschwingungsbedingten Abweichung des Amplitudenverlaufes ($I_Q(t)$) vom Sollwert der Grundschrwingungsamplitude (I_Q^*) des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger ergebende Steuerfehler im Steuerwert (I_Q^*) aufgeteilt in einen Steuerfehlergrundanteil ($I_Q^0(t)$) und in differentielle Steuerfehleranteile ($I_Q^1(t)$) ... ($I_Q^k(t)$) ... ($I_Q^p(t)$) bestimmt wird mittels dem Istwert des induktiven Blindstromes ($i_F(t)$) zum Verbraucher und dem Istwert des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger ($i_Q(t)$), und
- b) die Steuerfehleranteile abhängig vom Verbraucher in Amplitude und Einschwingverhalten angepaßt und zu einer Steuerkorrekturgröße ($K(t)$) zusammengefaßt werden, und diese zum Steuerwert (I_Q^*) hinzugefügt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung des Steuerfehlergrundanteiles ($I_Q^0(t)$) der Amplitudenverlauf ($I_Q(t)$) des Stromes ($i_Q(t)$) zum induktiven Blindstromerzeuger mit dem Amplitudenverlauf ($I_F(t)$) des Verbraucherblindstromes zusammengefaßt und davon der der Sollwert für die Grundschrwingungsamplitude (I_C^*) des Stromes zum kapazitiven Blindstromerzeuger abgezogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung des Steuerfehlergrundanteiles ($I_Q^0(t)$) die Oberschwingungen in der Summe aus dem Istwert ($i_Q(t)$) des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger und dem Istwert ($i_F(t)$) des Verbraucherblindstromes geglättet werden, hieraus die normierte Grundschrwingung

$$\left(\sin \omega \left(t - \frac{T}{4} \right) \right)$$

ausgefiltert und davon der Sollwert (I_C^*) für die Grundschrwingungsamplitude des Stromes zum kapazitiven Blindstromerzeuger abgezogen wird.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung eines der differentiellen Steuerfehleranteile ($I_Q^k(t)$) der Steuerfehleranteil mit der nächst niedrigeren Ordnung ($k - 1$) zeitverzögert differenziert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung eines der differentiellen Steuerfehleranteile ($I_Q^k(t)$) eine Eingangsgröße differenziert und überschwingungsglättet, hieraus die von der Ordnung (k) des differentiellen Steuerfehleranteiles abhängige normierte Grundschrwingung ausgefiltert und davon der Sollwert (I_C^*) der Grundschrwingungsamplitude des Stromes zum kapazitiven Blindstromerzeuger abgezogen wird, wobei

- a) zur Bestimmung des differentiellen Steuerfehleranteiles 1. Ordnung ($I_Q^1(t)$) die Summe aus dem Istwert ($i_Q(t)$) des Stromes zum induktiven Blindstromerzeuger und dem Istwert ($i_F(t)$) des Verbraucherblindstromes als Ein-

gangsgröße dient, und

- b) zur Bestimmung eines differentiellen Steuerfehleranteiles höherer Ordnung ($I_Q^2(t)$) ... ($I_Q^k(t)$) ... ($I_Q^p(t)$) als Eingangsgröße die differenzierte und überschwingungsglättete Eingangsgröße des differentiellen Steuerfehleranteiles mit der nächst niedrigeren Ordnung ($k - 1$) dient.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerfehleranteile getrennt in Amplitude und Einschwingverhalten angepaßt, und die angepaßten Anteile zur Steuerkorrekturgröße ($K(t)$) zusammengefaßt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplituden der Steuerfehleranteile und das Einschwingverhalten des Steuerfehlergrundanteiles getrennt angepaßt werden, das Einschwingverhalten der amplitudenangepaßten differentiellen Steuerfehleranteile gemeinsam angepaßt wird, und die so angepaßten Anteile zur Steuerkorrekturgröße ($K(t)$) zusammengefaßt werden.

8. Vorrichtung zur Kompensation von Blindströmen, welche von einem das Stromversorgungsnetz insbesondere stoßartig belastenden Verbraucher schnellveränderliche hervorgerufen werden, mit

- a) einem Kompensator (K) aus einer Kondensatorbank (KB) mit insbesondere im Stern angeordneten Teilkondensatoren (C_R , C_S , C_T) und aus einem steuerbaren Blindstromsteller (BST) mit insbesondere im Dreieck angeordneten, zuschaltbaren Induktivitäten (L_1 , L_2 , L_3), welcher dem Verbraucher (V) parallelgeschaltet ist,
- b) einer Steuervorrichtung für den Blindstromsteller ($BSSV$), aus

- b1) einer Meßeinrichtung (BME) für den induktiven Verbraucherblindstrom ($i_F(t)$),
- b2) einem ersten Schwingungsfilter (F) zur Bildung der Amplitude (I_F) des Blindstromes, und
- b3) einem Steuersatz (SZ) zur Vorgabe der Steuerwinkel (φ) für die zuschaltbaren Induktivitäten (L_1 , L_2 , L_3) in Abhängigkeit von einem der Differenz aus der Blindstromamplitude (I_F) und dem Sollwert (I_C^*) der Grundschrwingungsamplitude des Kondensatorstromes zur Kondensatorbank (KB) entsprechenden Steuerwert (I_Q^*),

gekennzeichnet durch

- c) eine Steuerfehlerkorrektureinheit (SFK) aus
 - c1) einem Steuerfehlerdetektor (SFD), welcher den sich aufgrund der überschwingungsbedingten Abweichung des Amplitudenverlaufes ($I_Q(t)$) vom Sollwert der Grundschrwingungsamplitude (I_Q^*) des Stromes zum Blindstromsteller ergebenden Steuerfehler im Steuerwert (I_Q^*) aufgeteilt in Steuerfehlergrundanteil ($I_Q^0(t)$) und differentielle Steuerfehleranteile ($I_Q^1(t)$) ... ($I_Q^k(t)$) ... ($I_Q^p(t)$) aus dem Istwert des induktiven Blindstromes ($i_F(t)$) zum Verbraucher (V) und dem Istwert des Stellerstromes ($i_Q(t)$) Blindstromsteller (BST) ermittelt,
 - c2) einem Steuerfehlerfilter (SFF), wel-

ches abhängig vom Verbraucher (V) die Steuerfehleranteile in Amplitude ($V_0, V_1 \dots V_k \dots V_n$) und Einschwingverhalten ($T_0, T_1 \dots T_k \dots T_n, TS$) anpaßt, und
 c3) einem Summierer (M_2), welcher die
 angepaßten Steuerfehleranteile zu einer
 Steuerkorrekturgröße ($K(t)$) zur Auf-
 schaltung auf den Steuerwert (I_Q^*) zu-
 sammenfaßt (Fig. 3).

9. Vorrichtung mit einem Steuerfehlerdetektor (SFD) nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch in Reihe hintereinander angeordnete Steuerfehler-
 teildetektoren ($SF_0, SF_1 \dots SF_k \dots SF_n$) zur Bil-
 dung der einzelnen Steuerfehleranteile ($I_Q^0(t),$
 $I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t)$)

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, gekennzeichnet
 durch einen ersten Steuerfehlerteildetektor (SF_0),
 bei dem der insbesondere mittels eines Steller-
 stromfilters (QF) gebildete Amplitudenverlauf
 ($I_Q(t)$) des Stellerstromistwertes ($i_Q(t)$) über einen
 Addierer (M_4) mit dem Amplitudenverlauf ($I_F(t)$)
 des Verbraucherblindstromistwertes ($i_F(t)$) zusam-
 mengefaßt und nach Subtraktion des Kondensator-
 stromsollwertes (I_C^*) als Steuerfehlergrundanteil
 ($I_Q^0(t)$) am Ausgang (A_{01}, A_{02}) ausgegeben wird
 (Fig. 4).

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, gekennzeichnet
 durch einen ersten Steuerfehlerteildetektor (SF_0),
 bei der der Istwert des Stellerstromes ($i_Q(t)$) mit
 dem Verbraucherblindstromistwert ($i_F(t)$) über ei-
 nen Addierer (M_4) zusammengefaßt, in einem
 Bandpaßfilter (BP_0) geglättet, zur Filterung der
 dazugehörigen normierten Grundschwingung ein-
 nem zweiten Schwingungsfilter (F_0) zugeführt, und
 nach Subtraktion (M_5) des Kondensatorstromsoll-
 wert (I_C^*) als Steuerfehlergrundanteil ($I_Q^0(t)$) am
 Ausgang (A_{01}, A_{02}) ausgegeben wird (Fig. 5).

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
 gekennzeichnet durch Steuerfehlerteildetektoren
 ($SF_1 \dots SF_k \dots SF_n$) zur Bildung differentieller
 Steuerfehleranteile ($I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t)$) am
 jeweiligen Ausgang (A_{k1}, A_{k2}) mittels je eines
 Funktionsgebers (DT) mit differenzierend verzö-
 gerndem Übertragungsverhalten ($D-T_1$ -Glied),
 dem jeweils der Steuerfehleranteil ($I_Q^{k-1}(t)$) mit
 der nächst niedrigeren Ordnung ($k-1$) am Ein-
 gang (E_k) zugeführt wird (Fig. 6).

13. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 11, gekenn-
 zeichnet durch Steuerfehlerteildetektoren ($SF_1 \dots$
 $SF_k \dots SF_n$) zur Bildung differentieller Steuerfeh-
 leranteile ($I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t)$), wobei jeweils
 das Signal am Eingang (E_k) einem Differenzierglied
 (DF) zugeführt wird, dem jeweils ein Bandpaßfilter
 (BP_0) und ein von der Ordnung (k) des jeweiligen
 differentiellen Steuerfehleranteiles $\dots (I_Q^k(t))$ ab-
 hängiges einstellbares Schwingungsfilter (F_k) zur
 Filterung der dazugehörigen normierten Grund-
 schwingung nachgeschaltet ist, und nach Subtrak-
 tion (M_6) des Kondensatorstromsollwertes ($-I_C^*$)
 der jeweilige differentielle Steuerfehleranteil
 ($I_Q^k(t)$) am Ausgang (A_{k1}) ausgegeben wird, und
 wobei

a) einem Steuerfehlerteildetektor (SF_1) für
 den differentiellen Steuerfehleranteil 1. Ord-
 nung ($I_Q^1(t)$) die Summe der Istwerte des Stel-
 lerstromes ($i_Q(t)$) und des Verbraucherblind-
 stromes ($i_F(t)$) am Eingang (E_1) zugeführt
 wird, und

b) einem Steuerfehlerteildetektor ($SF_1 \dots SF_k$
 $\dots SF_n$) für einen differentiellen Steuerfehler-
 anteil höherer Ordnung ($I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots$
 $I_Q^n(t)$) am Eingang (E_k) das Signal am Aus-
 gang ($A_{(k-1)2}$) des Bandpaßfilters (BP_0) des
 Steuerfehlerteildetektors ($SF_{(k-1)}$) für den
 differentiellen Steuerfehleranteil mit der
 nächst niedrigeren Ordnung ($k-1$) zugeführt
 wird (Fig. 7).

14. Vorrichtung mit einem einstellbaren Schwin-
 gungsfilter (FK) nach Anspruch 13, gekennzeichnet
 durch

a) ein einstellbares Grundschwingungsfilter
 (GF_0), welches abhängig von der Ordnung ($k,$
 $1 \dots n$) des jeweiligen differentiellen Steuer-
 fehleranteils ($I_Q^k(t)$) die dazugehörige nor-
 mierte Grundschwingung phasenlagerichtig
 aus dem Istwert der Sammelschienenspan-
 nung ($u_S(t)$) bestimmt,

b) eine Vorzeichensteuerung (VS), welche für
 die normierte Grundschwingung das von der
 Ordnung (k) des jeweiligen differentiellen
 Steuerfehleranteiles abhängige Vorzeichen
 bereitstellt, und

c) einen Dividierer (D_0) zur Bildung des Aus-
 gangssignales des einstellbaren Schwingungs-
 filters, dem das Eingangssignal des Schwin-
 gungsfilters als Zählerwert und die phasenla-
 ge- und vorzeichenrichtige normierte Grund-
 schwingung als Nennerwert zugeführt wird
 (Fig. 7).

15. Vorrichtung mit einem Schwingungsfilter ($F_0,$
 F_1) nach einem der Ansprüche 8 bis 14, gekenn-
 zeichnet durch

a) ein Grundschwingungsfilter (GF), welches
 aus dem Istwert der Sammelschienenspan-
 nung ($u_S(t)$) die um ein Viertel der Netzperiode

$$\left(\frac{T}{4}\right)$$

phasenvoreilende normierte Grundschwin-
 gung bestimmt, und

b) einen Dividierer (D_0) zur Bildung des Aus-
 gangssignales des Schwingungsfilters, dem das
 Eingangssignal des Schwingungsfilters als
 Zählerwert und das Ausgangssignal des
 Grundschwingungsfilters (GF) als Nennerwert
 zugeführt wird (Fig. 3, 5).

16. Vorrichtung mit einem Steuerfehlerfilter (SFF)
 nach einem der Ansprüche 8 bis 15, gekennzeichnet
 durch

a) je einen Verstärker ($V_0, V_1 \dots V_k \dots V_n$)
 mit einstellbarem Verstärkungsfaktor zur Am-
 plitudenanpassung des jeweiligen Steuerfeh-
 leranteiles ($I_Q^0(t), I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t)$),
 und

b) je ein Glättungsglied ($T_0, T_1 \dots T_k \dots T_n$)
 mit einstellbarer Zeitkonstante zur Anpassung
 des Einschwingverhaltens des jeweiligen Steu-
 erfehleranteiles, welches dem dazugehörigen
 Verstärker zum Amplitudenanpassung in Rei-
 he geschaltet ist (Fig. 3).

17. Vorrichtung mit einem Steuerfehlerfilter (SFF)
 nach einem der Ansprüche 8 bis 15, gekennzeichnet
 durch

a) je einen Verstärker ($V_0, V_1 \dots V_k \dots V_n$)

mit einstellbarem Verstärkungsfaktor zur Amplitudenanpassung des jeweiligen Steuerfehleranteiles $(I_Q^0(t), I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t))$
b) je ein Glättungsglied $(T\theta)$ mit einstellbarer Zeitkonstante zur Anpassung des Einschwingverhaltens des Steuerfehlergrundanteiles $(I_Q^0(t))$, welches dem dazugehörigen Verstärker $(V\theta)$ zur Amplitudenanpassung in Reihe geschaltet ist, und
c) ein Glättungsglied (TS) mit einstellbarer Zeitkonstante zur Anpassung des Einschwingungsverhaltens der Summe $(M3)$ der differentiellen Steuerfehleranteile $(I_Q^1(t) \dots I_Q^k(t) \dots I_Q^n(t))$ (Fig. 8).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

3818732

Nummer: 38 18 732
 Int. Cl.4: H 02 J 3/18
 Anmeld tag: 1. Juni 1988
 Offenl gungstag: 7. D zember 1989

1/6

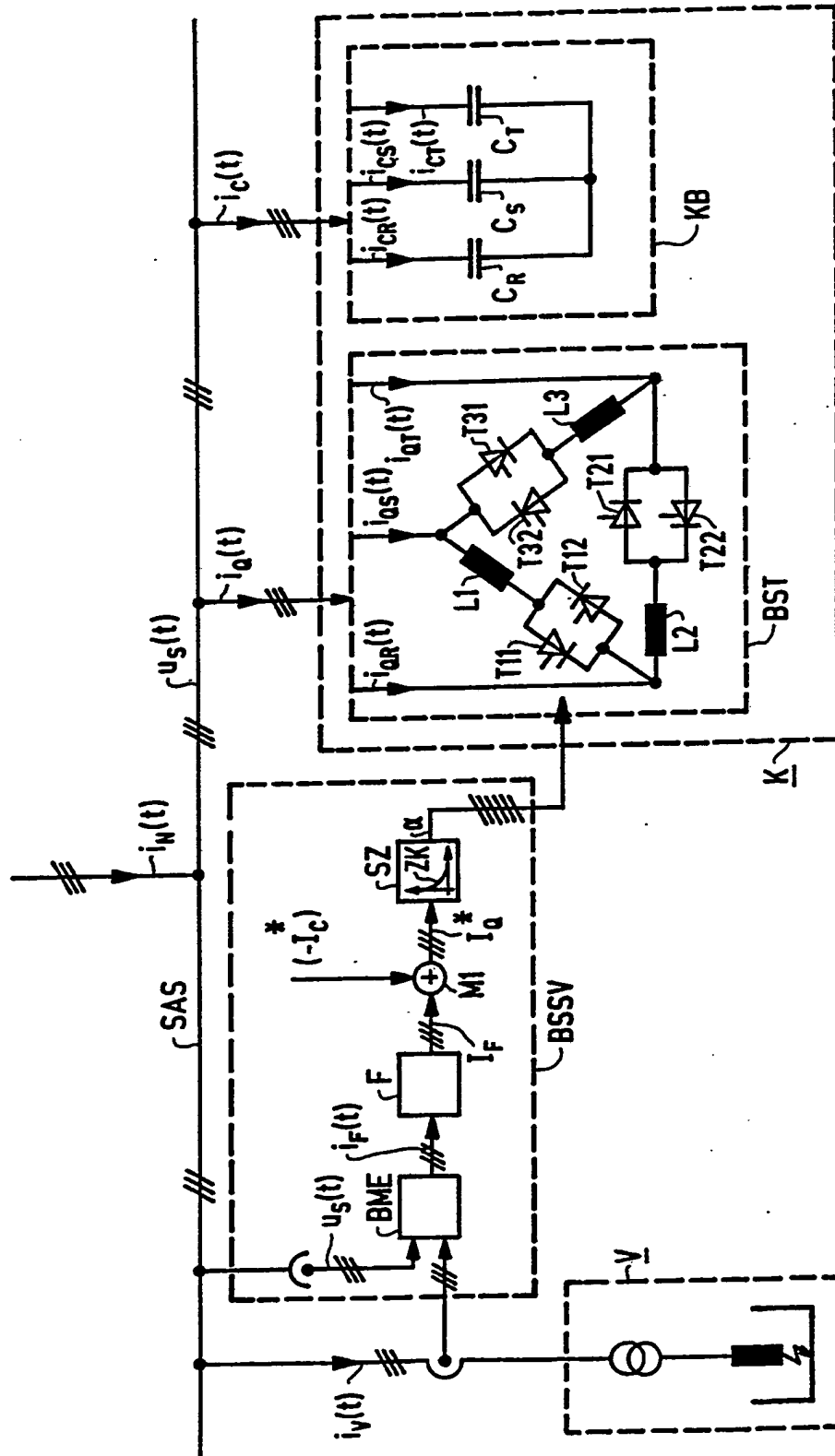


FIG 1

2/6

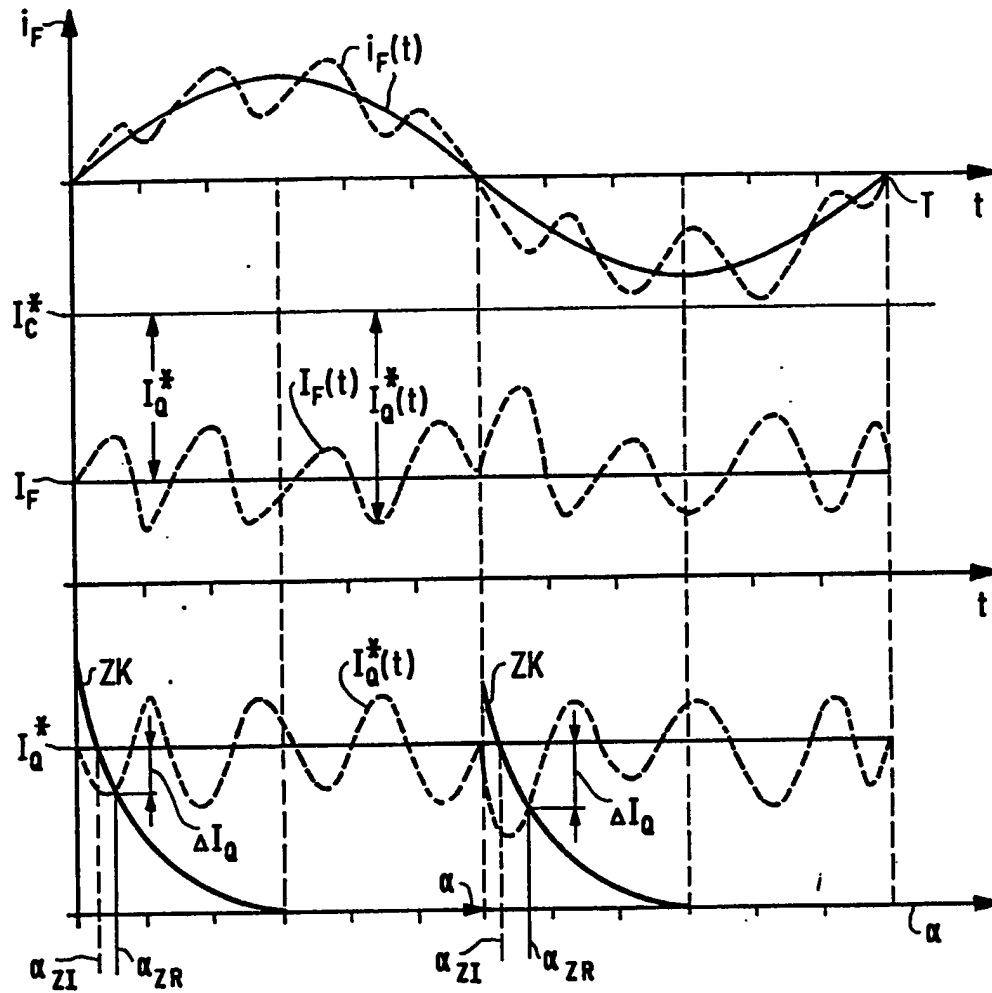


FIG 2

3/6



FIG 3

4/6

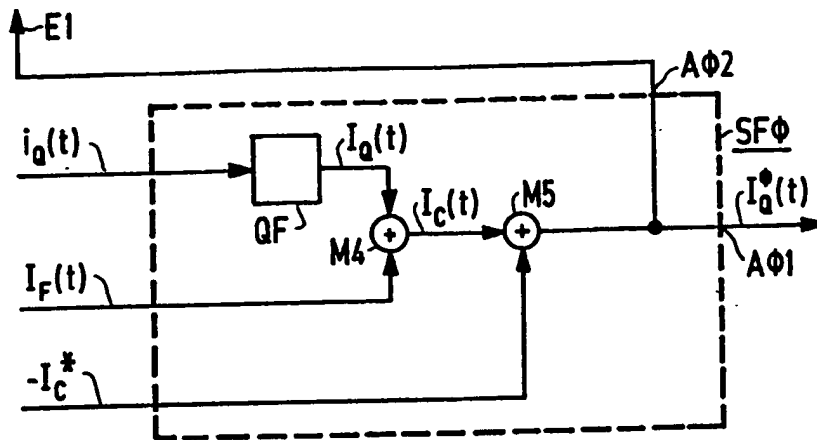


FIG 4

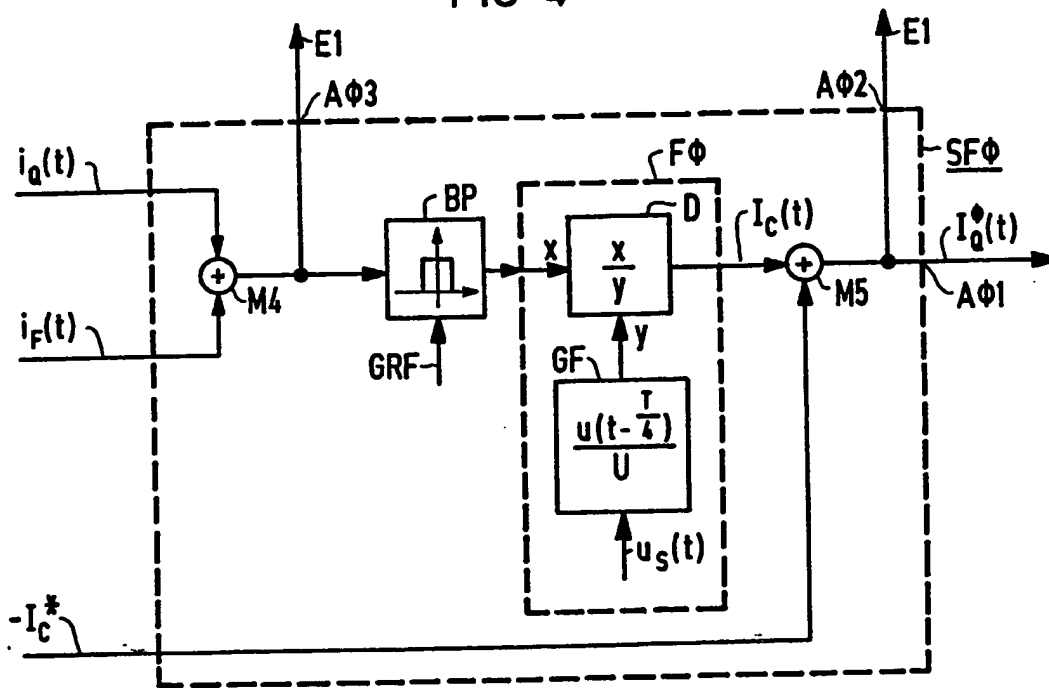


FIG 5

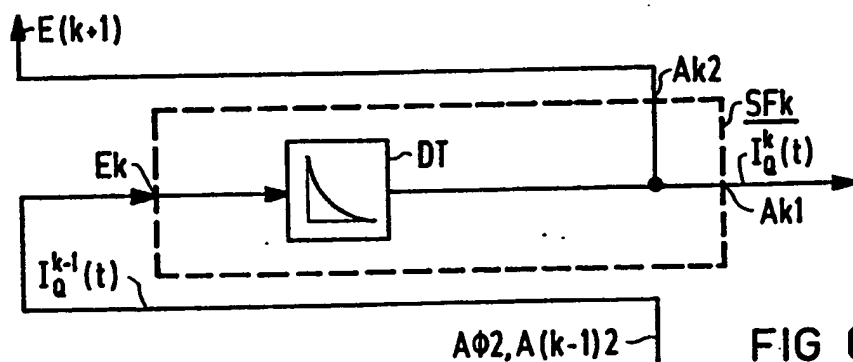


FIG 6

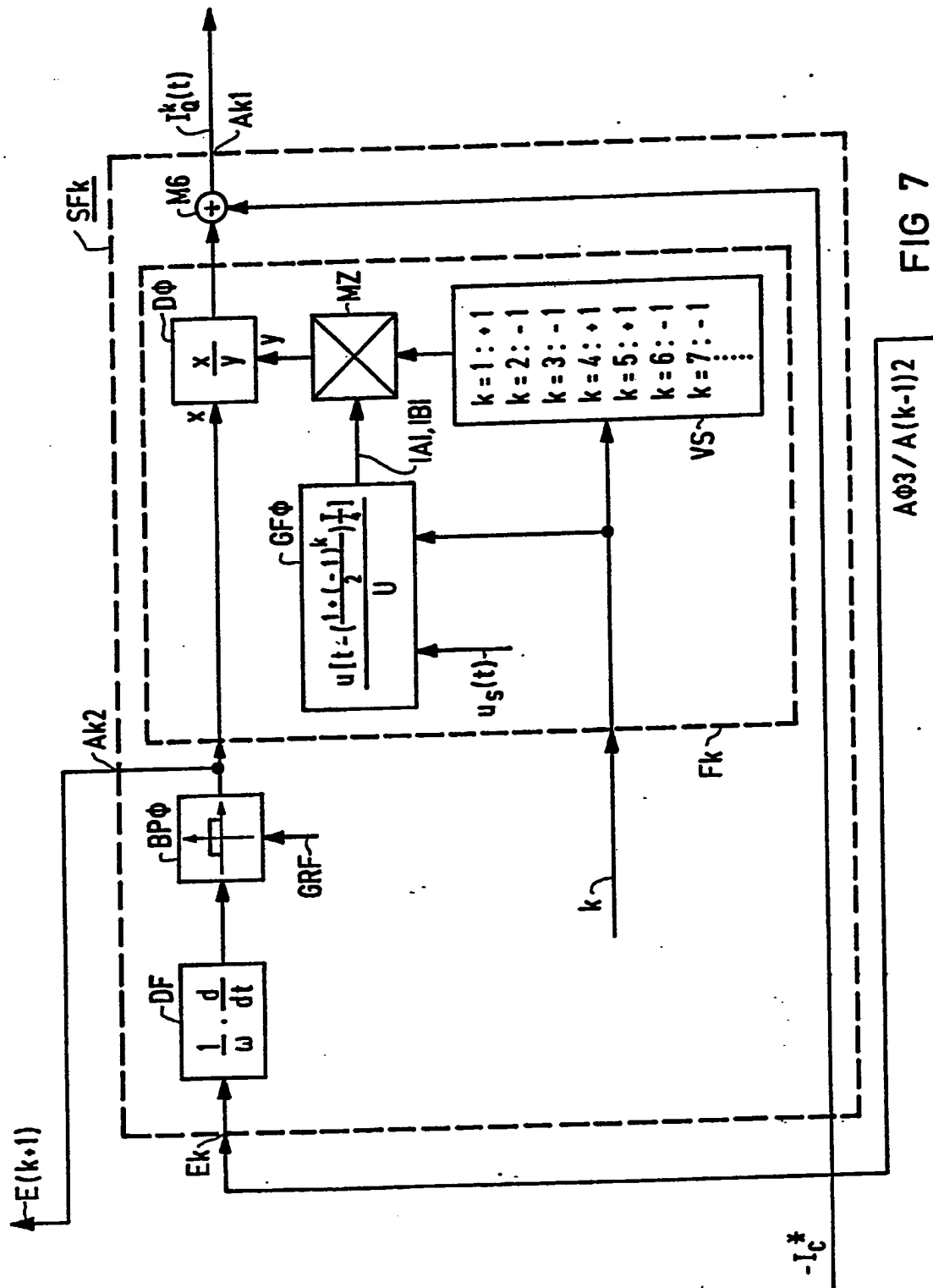


FIG 7

$A\Phi3/A(k-1)2$

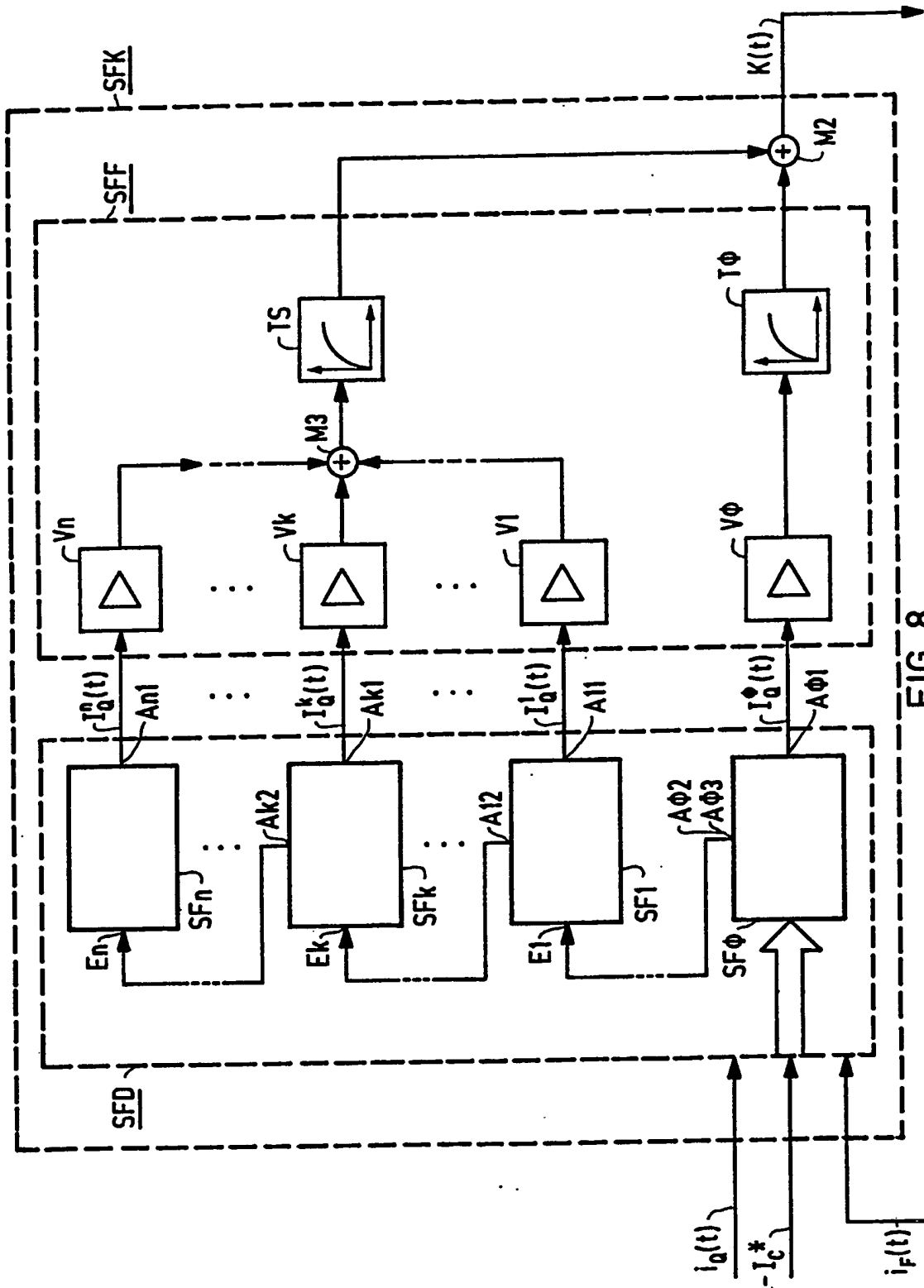


FIG 8